แบบจำลองระบบการผลิตพืชกับงานวิจัยระบบทำฟาร์ม

อรรถชัย จินตะเวช[1/] วินัย ศรวัต[2/] ก้อนทอง พวงประโคน[2/]
หัสไชย บุญจูง[3/] เกริก ปั้นเหน่งเพชร[4/] พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์[5/]
และ ปรีชา พราหมณีย์[6/]

บทคัดย่อ

งานวิจัยระบบการทำฟาร์ม เป็นการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีเกษตร โดยที่เกษตรกรมีบทบาทร่วมตั้งแต่ระยะเริ่มแรก และทำให้เกษตรกรมีทางเลือกในการผลิตตามพื้นฐานทรัพยากรของครัวเรือนเกษตรกร แบบจำลองพืช เป็นวิธีการวิจัยที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในหลายสาขาวิชา รวมทั้งการวิจัยด้านการเกษตร และได้มีการแนะนำในประเทศไทยระหว่างต้นทศวรรษที่ 1980 แบบจำลองพืชที่ได้รับการพัฒนาเอื้อให้ผู้ใช้งานสามารถเลียนแบบระบบจริงได้อย่างใกล้เคียง โดยสามารถนำปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิต เข้าร่วมในการพิจารณาได้อย่างกลมกลืนและสมบูรณ์ ทำให้สามารถนำแบบจำลองที่ผ่านการทดสอบแล้ว ไปใช้ในการพัฒนาและประเมินเทคโนโลยีทางเกษตร (exercise choices) ในระดับไร่นาได้อย่างมั่นใจ และทำให้สามารถกำหนดการใช้ทรัพยากรการผลิต ที่มีความแม่นยำเชิงเวลามากขึ้น อย่างไรก็ตาม ต้องมีการร่วมมือทำการวิจัยและทดสอบแบบจำลองเหล่านี้ในประเทศไทยอย่างเป็นระบบ จึงจะทำให้สามารถใช้แบบจำลองและระบบฐานข้อมูล ช่วยในการตัดสินใจเพื่อการผลิต รวมทั้งความร่วมมือในการพัฒนาระบบฐานข้อมูล เพื่อการใช้งานแบบจำลองในการแก้ปัญหาของระบบการผลิตจริง

[1/] ภาควิชาปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์ และศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[2/] ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

[3/] สำนักเทคโนโลยีทางเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[4/] ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

[5/] ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[6/] ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1. บทนำ

การตรวจเอกสารผลงานวิจัยพัฒนา ที่ใช้แนวทาง System Modeling and Simulation (SMS) ในประเทศไทย โดยนักวิชาการไทยเป็นหลักในการปฏิบัติงาน ที่ปรากฏในเอกสารฉบับนี้ อาจไม่ครอบคลุมเอกสารทางวิชาการที่มีการตีพิมพ์แล้วได้อย่างทั่วถึง ในที่นี้จะขอจำกัดวงอยู่เฉพาะเอกสารเกี่ยวกับแบบจำลองในระดับแปลงพืชเดี่ยว เนื่องจากมีแบบจำลองระบบในระดับต่าง ๆ มากมาย เช่น ด้านการเปลี่ยนแปลงบรรยายกาศของโลก (Hoogenboom *et al.*, 1995) ด้านสิ่งแวดล้อม (Ford, 1999) ด้านเศรษฐศาสตร์ (Antle *et al.*, 1998) ด้านการย่อยสะลายของอินทรีย์วัตถุ ด้านการแพร่กระจายของสารเคมีในดิน (Jong and Reynolds, 1995) ด้านการสังเคราะห์แสงของพืช (Evans and Farquhar, 1991) ด้านวนเกษตร (Van Noordwijk and Lusiana, 2000) และด้านอื่นอีกมากมาย (Peart and Curry, 1998; Hanks and Ritchie, 1991)

ปัจจุบันมีแบบจำลองพืชมากกว่า 15 พืช ที่สามารถใช้งานได้ในระดับไร่นา ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยนักวิทยาศาสตร์เกษตรตั้งแต่ทศวรรษที่ 1960 (de Wit, 1965) เพื่อผนวกความเข้าใจที่ได้จากงานวิจัย ให้สามารถคาดการณ์ระบบการผลิตพืชได้ ในระดับที่เราสามารถควบคุมทรัพยากรการผลิตอย่างเป็นระบบ ในระยะแรกของการวิจัยและพัฒนา ผู้วิจัยประสบอุปสรรคหลายประการ ทั้งในด้านองค์ความรู้ที่จะใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง ด้านความสามารถของคอมพิวเตอร์ในการคำนวณและแก้สมการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน อย่างไรก็ตาม ในระยะห้าปีที่ผ่านมา แบบจำลองพืชได้รับการปรับปรุงและการยอมรับอย่างกว้างขวางในวงการเกษตร และมีการใช้งานเพื่อจัดการทรัพยากรการผลิต (Thornton *et al.*, 1997) และเป็นองค์ประกอบสำคัญอย่างหนึ่งในการเกษตรเสมือน (Virtual agriculture: Holt and Sonka, 1995) ซึ่งเป็นการเกษตรที่มีการแข่งขันเพื่อผลิตและเพื่อขายสินค้าเกษตรแต่ละชนิดอย่างรุนแรง ทำให้การผลิตในระดับไร่นาต้องการเทคโนโลยีที่เหมาะสมมากขึ้นกว่าเดิม และต้องทราบปัญหาของการผลิตและการตลาดก่อนการผลิตจริง เพื่อให้ระบบงานวิจัยสามารถพัฒนาคำตอบที่เหมาะสมได้อย่างทันเหตุการณ์

Ekasingh *et al.* (1996) ได้แนะนำเทคโนโลยีสารสนเทศเกษตร (Agricultural Information Technology: AgIT) หลายชนิดที่มีศักยภาพสูง ที่ควรประยุกต์ใช้งานในภาคเกษตรของไทย ซึ่งหมายความรวมถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ (hardware) โปรแกรมใช้งาน (software) และบุคลากรที่มีความสามารถและมีวัฒนธรรมด้านไอที (peopleware) แบบจำลองพืชเป็นตัวอย่างหนึ่ง AgIT มีการพัฒนาและมีความอัตราการเจริญเติบโตในอัตราสูงมาก และก่อให้เกิดเทคโนโลยีสารสนเทศมากมาย นอกจากนี้มีตัวอย่างการใช้งานเทคโนโลยีสารสนเทศเหล่านี้อย่างต่อเนื่องในสาขาต่าง ๆ ของสังคมไทย เช่น มีการพัฒนาห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่หลากหลายบริษัท ทำให้พฤติกรรมการบริโภคของสังคมไทยเปลี่ยนไป การเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของร้านสะดวกซื้อขนาดเล็ก เช่น seven-eleven ทำให้ร้านขายของชำแบบดั้งเดิมตามระบบการจัดการแบบครอบครัวลดจำนวนลงอย่างมากมาย ตัวอย่างมีอีกมากมาย และจะเกิดขึ้นอีกเป็นจำนวนมากในสังคมรอบตัวเรา เนื่องจากการพัฒนาเพื่อนำเทคโนโลยีสารสนเทศทั้งสามรูปแบบที่กล่าวข้างต้น เข้ามาสนับสนุนการจัดการบริหารทรัพยากรของห้างร้านของเขาอย่างเป็นระบบ

มีคำถามเสมอว่า แล้วเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเกี่ยวข้องกับการทำไร่ไถนาและกิจกรรมการเกษตรของไทยได้อย่างไร ในความเป็นจริงแล้ว ถ้ากล่าวถึงงานการเกษตรที่ทำจริง ๆ ในท้องทุ่งท้องนาก็อาจจะไม่เห็นภาพความเกี่ยวข้องของคอมพิวเตอร์และการเกษตรได้ แต่หากพูดถึงข้อมูลการเกษตรอาจจะทำให้เห็นภาพได้ชัดขึ้น ระบบเกษตรที่มีรังสีแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงาน สามารถผลิตวัตถุดิบเป็นจำนวนมากที่มนุษย์สามารถนำไปแปรรูปให้เป็นอาหาร เป็นเครื่องนุ่งห่ม เป็นยารักษาโรค และเป็นที่อยู่อาศัย ดังนั้น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรจึงมีปริมาณมาก ไม่น้อยไปกว่าวัตถุดิบที่ผลิตได้ เครื่องคอมพิวเตอร์จึงเกี่ยวข้องกับการเกษตรในส่วนของข้อมูลการเกษตร เครื่องคอมพิวเตอร์ยังมีความสามารถในการทำงานแบบซ้ำซากได้อย่างสม่ำเสมอ แม่นยำ และเชื่อถือได้

ลองมาดูเรื่องของการเกษตรบ้าง จุดประสงค์ของกิจกรรมการเกษตรคือการผลิตอาหารให้เพียงพอต่อความต้องการของประชากร ทั้งในระดับครัวเรือนและในระดับนานาชาติ สามเวลาต่อวัน สามร้อยหกสิบห้าวันต่อปี ผลผลิตที่เหลือจากการบริโภคทั้งในระดับครัวเรือนและระดับประเทศสามารถและถูกนำไปเปลี่ยนให้เป็นสินค้า และนำเงินตราต่างประเทศเข้าสู่ระบบการเงินและการคลังของประเทศ ดังนั้น คำถามที่มักจะถามกันอย่างต่อเนื่องคือ พืชชนิดนี้จะปลูกและ/หรือสัตว์ชนิดจะเลี้ยงที่ไหนดี? และพื้นที่นี้ ดินชนิดนี้ อากาศเป็นอย่างนี้ สภาพสังคมเศรษฐกิจของครัวเรือนเป็นอย่างนี้ จะปลูกพืช และ/หรือ เลี้ยงสัตว์อะไรดี? การที่จะตอบคำถามนี้ได้ต้องมีข้อมูล ต้องมีเครื่องมือในการประมวลข้อมูล เพื่อให้ได้คำตอบที่สามารถผลิตสินค้าเกษตร อาหาร เครื่องนุ่งห่ม และยารักษาโรค ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งต้องการเทคโนโลยีทางเกษตร (Agricultural Technology: AT) หลากชนิด เช่น พันธุ์พืชพันธุ์ใหม่ ปุ๋ยเคมีและสารเคมีชนิดใหม่ เครื่องทุ่นแรงและเครื่องจักรกลเกษตรแบบใหม่ เป็นต้น โดยใช้หลักการและแนวคิดเฉพาะสาขาวิชาการ การปฏิวัติเขียวในทศวรรษที่ 1960 –1970 ทำให้มีการนำเทคโนโลยีทางเกษตรหลากชนิดมาใช้งานในประเทศ คำถามคือ สังคมไทยยังจะใช้ระบบและแนวทางการวิจัยเพื่อผลิตและใช้เทคโนโลยีทางเกษตรแบบเดิมไหม? เราใช้ระบบการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางเกษตรแบบเดิมหรือไม่? เราจะใช้ระบบการเรียนการสอนทางเกษตรแบบเดิมไหม? เรายังจะใช้ระบบฐานข้อมูลแบบเดิมในการทำงานวิจัย-ส่งเสริม-ทำตลาดสินค้าเกษตรหรือไม่?

คำถามข้างต้นเป็นดัชนีชี้ว่า โจทย์วิจัยทางเกษตรของไทยได้เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมในหลายมิติ มิติเดิมของการผลิตคือการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ แต่ปัจจุบันมีมิติใหม่เพิ่มขึ้น ได้แก่ มิติของผลผลิตต่อหน่วยทรัพยากรการผลิตที่เกษตรกรเติมลงไป มิติของสิ่งแวดล้อม มิติของคุณภาพของสินค้าที่ผลิต มิติในด้านแรงงานที่ใช้ ความซับซ้อนของมิติและมุมมองมีเพิ่มขึ้น มีความจำเป็นที่นักวิชาการเกษตรและบุคลากรในมหาวิทยาลัย ต้องประสานงานกันอย่างใกล้ชิด เพื่อการแก้ไขโจทย์และปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ จะใช้วิธีการเดิมก็ได้ แต่อาจจะไม่สามารถตอบคำถาม และไม่สามารถสร้างการมีส่วนร่วมในการสร้างการเปลี่ยนแปลงการผลิตทางเกษตร ให้มีประสิทธิภาพได้เพียงพอที่จะแข่งขันกับผู้ผลิตรายอื่น

เอกสารฉบับนี้นำเสนอเรื่องราวเกี่ยวกับแนวคิดของงานวิจัย SMS ที่ได้รับการพัฒนาเริ่มแรกในประเทศเนเธอร์แลนด์ (Bouman *et al*, 1996) และสหรัฐอเมริกา (Hanks and Ritchie, 1991) พร้อมทั้งเสนอตัวอย่างของงานวิจัยทางเกษตรในประเทศไทย ที่ใช้แบบจำลองระบบการผลิตพืช ทั้งที่มีอยู่แล้ว และที่ได้รับการพัฒนาจากข้อมูลงานวิจัยของไทย เป็นเครื่องมือหนึ่งสำหรับงานวิจัยเชิงระบบ

(ระบบการทำฟาร์ม: Farming Systems Research: FSR) โดยมีพื้นฐานจากงานวิจัยของมหาวิทยาลัยในประเทศ และงานวิจัยของกรมวิชาการเกษตร

2. จะมั่นใจกับแบบจำลองระบบการผลิตพืชได้มากน้อยเพียงไร?

ขอเสนอแง่คิดและมุมมอง 3 ประเด็น เกี่ยวกับคำถามนี้ ได้แก่ 1) กรอบงานวิจัยพัฒนาแบบจำลองพืชคืออะไร 2) กรอบช่วยอย่างไร และ 3) จุดประสงค์ของการพัฒนาและการใช้งาน

2.1 กรอบงานวิจัยพัฒนาแบบจำลองพืช

การสร้างทฤษฎีทางวิทยาศาสตร์ เพื่อช่วยในการสร้างความเข้าใจ (Understanding) และรวบรวม (Summarize) องค์ความรู้เกี่ยวกับระบบรอบตัวเรา เพื่อประโยชน์ในการคาดการณ์ (Predict) พฤติกรรมของสรรพสิ่งนั้น ส่งผลให้เราควบคุมและจัดการ (Control and manage) ระบบให้เหมาะสมต่อสภาพทางสังคมและเศรษฐกิจ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของเราไปในทางที่ดีที่และเหมาะสมต่อระดับของทรัพยากร (de Wit, 1965; Uehara, 1998) การแปลงความเข้าใจเกี่ยวกับระบบ ให้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ช่วยให้การแก้สมการที่ซับซ้อนเป็นไปอย่างแม่นยำและรวดเร็ว เป็นเรื่องการพัฒนาแบบจำลองของระบบที่เราสนใจ หรืออีกนัยหนึ่งคือการสร้างแบบจำลองของระบบที่เราสนใจ

ในปี 1965 ศาสตราจารย์ de Wit ได้เสนอแนะวิธีการคำนวณและคาดการณ์ผลผลิตข้าวสาลี โดยใช้สมการคณิตศาสตร์หลายสมการ ซึ่งสร้างจากข้อมูลงานทดลองในระดับกระบวนการสำคัญของพืช เช่น กระบวนการสังเคราะห์แสง กระบวนการหายใจ การคายระเหยน้ำ การดูดตรึงธาตุอาหาร เป็นต้น ต่อมาในปี 1969 ได้มีการสัมมนาเรื่อง Prediction and measurement of photosynthetic productivity ที่เมือง Trebon ประเทศเชกโกสโลวาเกีย (Czechoslovakia) งานนั้นมีนักวิทยาศาสตร์ทางเกษตรเข้าร่วมมากกว่า 130 คน จาก 10 ประเทศ มีการเสนอเอกสารทางวิชาการเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองทางเกษตรมากมาย และเป็นสัมมนาที่วางรากฐานสำคัญให้แก่งานวิจัย SMS ซึ่งในเวลาต่อมาได้ขยายตัวอย่างแพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา

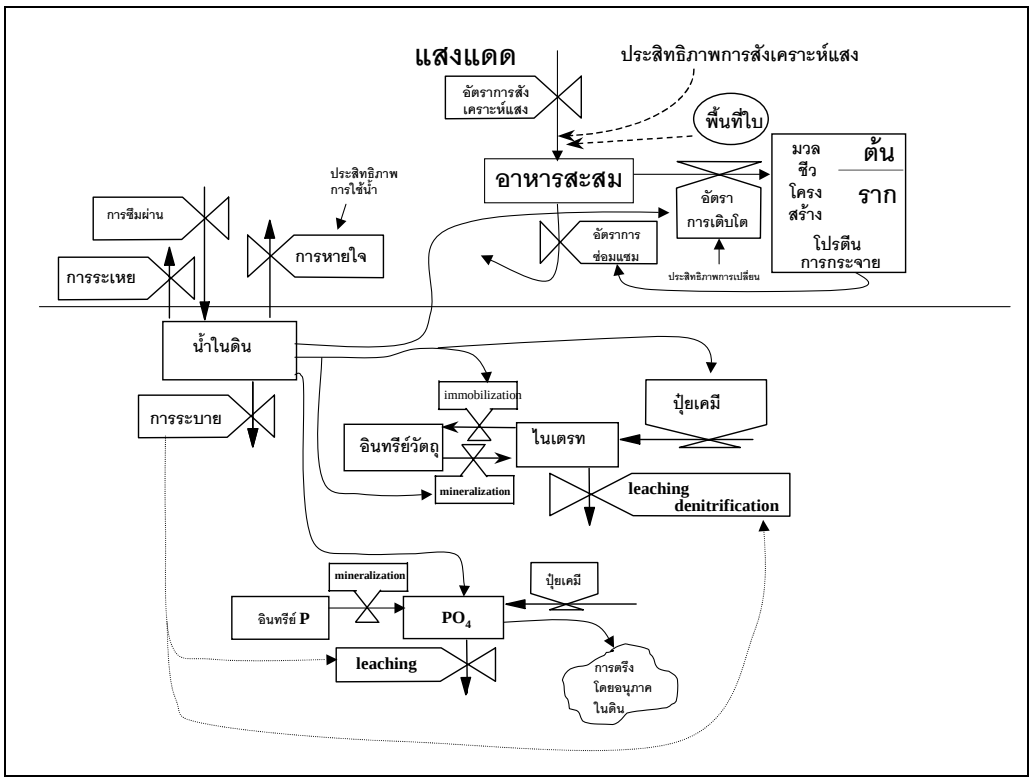
ในปี 1982 Penning de Vries and van Laar ได้เสนอกรอบงานวิจัยและพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตพืช เพื่อเป็นพื้นฐานในการสื่อสารระหว่างนักพัฒนาแบบจำลองและผู้ดำเนินงานทดลองในระดับกระบวนการต่าง ๆ รวมไปถึงผู้ใช้งานแบบจำลองด้วย การผลิตทั้ง 4 ระดับมีรายละเอียดพอสังเขปดังต่อไปนี้

1) ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด (Potential crop production system)
2) ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด (Water limited crop production system)
3) ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด (Nitrogen limited crop production system)
4) ระบบการผลิตพืชที่มีธาตุอาหารอื่น ศัตรูพืช และปัจจัยสังคมเป็นปัจจัยจำกัด (Other plant nutrients, pest, and social factors limited crop production system)

2.1.1 การผลิตระดับ 1: ระบบการผลิตพืชขั้นสูงสุด

ในระบบการผลิตพืชระบบนี้ กระบวนการเจริญเติบโตและกระบวนพัฒนาการของพืชได้รับปัจจัยการผลิตอย่างเต็มที่ หมายถึงมีปริมาณน้ำและระดับธาตุอาหารของพืชตามความต้องการ แต่ไม่เป็นพิษต่อพืชและสภาพแวดล้อม พืชมีอัตราการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 24-56 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน เมื่อมีพื้นที่ใบครอบคลุมพื้นที่ดินเต็มพื้นที่ และเป็นอัตราที่ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเกษตร โดยเฉพาะรังสีแสงอาทิตย์ และในบางสถานการณ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิอากาศ โดยเฉพาะในพื้นที่ที่มีอากาศหนาว การผลิตพืชในระบบนี้ มีองค์ประกอบพืชที่สำคัญได้แก่ ต้น ราก และผลผลิต (ภาพที่ 1) โดยมีกระบวนการสังเคราะห์แสง การบำรุงรักษาส่วนต่าง ๆ และการกระจายสารสังเคราะห์ เป็นกระบวนการสำคัญ กระบวนการสังเคราะห์แสง (eq 1) เป็นกระบวนการพื้นฐานเช่นเดียวกันหมดของพืชทุกชนิด

$$6CO_2 + 6H_20 + [2.882 \ X \ 10^6 \ k \ J] >>>>> C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \quad \text{…….. (eq 1)}$$



ภาพที่ 1 แบบจำลองกระบวนการสำคัญในการผลิตพืชทั้ง 4 ระดับ ดัดแปลงจาก Penning de Vries and van Laar, 1982

ส่วนใหญ่แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ และกระบวนการเจริญเติบโต เป็นองค์ประกอบหลัก ไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพลวัตของน้ำในดิน และพลวัตของธาตุอาหารพืชในดินและในพืช

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้ สามารถสร้างได้ในห้องปฏิบัติการ ในสภาพการผลิตจริงก็มีเช่นกัน เช่น ระบบการผลิตข้าวในพื้นที่ภาคกลางของประเทศไทย การผลิตข้าวสาลีและมันฝรั่งในประเทศเนเธอร์แลนด์ เป็นต้น แบบจำลองข้าวของระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อการถ่ายทอดเทคโนโลยีทางเกษตร (Decision Support System for Agrotechnology Transfer: DSSAT) สามารถคำนวณผลผลิตของพืชในระดับนี้ได้อย่างแม่นยำ ใกล้เคียงกับผลผลิตที่วัดไปในสภาพแปลงผลิตจริงของเกษตรกร

2.1.2 การผลิตระดับ 2: ระบบการผลิตพืชที่มีน้ำเป็นปัจจัยจำกัด

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช แต่อัตราการเจริญเติบโตสามารถดำเนินได้อย่างเต็มที่เหมือนในระบบการผลิตที่ 1 เมื่อมีปริมาณน้ำเพียงพอต่อความต้องการของพืช กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ ได้แก่พลวัตของน้ำในดินและพืช การสูญเสียน้ำในกระบวนการ runoff และ drainage และที่ต้องให้ความสำคัญเป็นพิเศษในระบบการผลิตนี้ ได้แก่ การถ่ายเทพลังงานความร้อนระหว่างอากาศ พืชและดิน

ส่วนใหญ่แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโต เป็นองค์ประกอบหลัก และกระบวนการพลวัตของน้ำในดิน แต่ยังไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับพลวัตของธาตุอาหารพืชในดิน โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจนและธาตุฟอสฟอรัส

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

2.1.3 การผลิตระดับ 3: ระบบการผลิตพืชที่มีไนโตรเจนเป็นปัจจัยจำกัด

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช คือระดับของธาตุไนโตรเจนต่ำกว่าความต้องการของพืช ในบางช่วงของพัฒนาการ โดยเฉพาะในช่วงปลายฤดูการผลิตพืช กระบวนการเพิ่มเติมในระบบการผลิตนี้ ได้แก่พลวัตรของธาตุไนโตรเจนในดินและในพืช การสูญเสียของธาตุไนโตรเจนในกระบวนการ leaching และ denitrification การตอบสนองของพืชต่อธาตุไนโตรเจน และการเคลื่อนย้ายธาตุไนโตรเจนจากส่วนที่มีอายุมากไปยังส่วนของพืชที่เกิดใหม่

แบบจำลองพืชในระดับของการผลิตพืชระดับนี้ ประกอบไปด้วยกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโตเป็นองค์ประกอบหลัก พลวัตของน้ำในดิน และพลวัตของธาตุอาหารไนโตรเจนในดินและในพืช แต่ยังไม่มีไม่มีกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับธาตุฟอสฟอรัสและธาตุอาหารพืชอื่น

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

2.1.4 การผลิตระดับ 4: ระบบการผลิตพืชที่มีธาตุอาหารอื่น ศัตรูพืช และปัจจัยสังคมเป็นปัจจัยจำกัด

อัตราการเจริญเติบโตของพืชในระบบการผลิตนี้ มีข้อจำกัดเพิ่มเติมจากเรื่องน้ำและเรื่องธาตุไนโตรเจน คือการขาดธาตุฟอสฟอรัส (phosphorus) ธาตุโพแตสเซียม (potassium) ในบางช่วงของการพัฒนาการของพืช การขาดธาตุฟอสฟอรัสมีความเกี่ยวข้องการ metabolism ของธาตุไนโตรเจน อัตราการเจริญเติบโตของพืชมีเพียง 1.6-8.0 กิโลกรัมแห้ง/ไร่/วัน ในช่วงการเจริญเติบโตน้อยกว่า 100 วัน นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านสังคมเศรษฐกิจเข้ามาเกี่ยวข้องเป็นอย่างมาก (whole farm model)

ตัวอย่างของระบบการผลิตนี้มีมากมายในพื้นที่เขตร้อนอย่างเช่นในประเทศไทย และการผลิตในเขตกึ่งร้อนกึ่งหนาว

2.2 กรอบงานวิจัยพัฒนาแบบจำลองพืชจะช่วยอย่างไร

กรอบการวิจัยที่เสนอโดย Penning de Vries and van Laar (1982) เป็นกรอบงานที่ยอมรับอย่างกว้างขวางในหมู่นักพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตพืชทั้งในยุโรปและอเมริกา ทำให้การพัฒนาแบบจำลองในแต่ละระดับสามารถเชื่อมต่อได้อย่างเป็นระบบ

นอกจากนี้ การแบ่งระบบการผลิตพืชออกเป็นลำดับชั้นทั้ง 4 ที่กล่าวโดยสังเขปมาแล้วนั้น มีประโยชน์ในงานพัฒนาแบบจำลอง 4 ประเด็นด้วยกัน ได้แก่

1. ในขั้นตอนการวางแผนงานทดลองเพื่อพัฒนาความเข้าใจและนำสู่การสร้างแบบจำลอง นักวิชาการที่ชำนาญในแต่ละสาขาวิชาการ สามารถร่วมปฏิบัติงานโดยใช้กรอบแนวคิดเดียวกันได้ แม้ว่าการดำเนินงานวิจัยจะมีความเฉพาะของแต่ละสาขาวิชาการ และยังสามารถใช้กรอบแนวคิดนี้ในการจัดสรรทรัพยากรของหน่วยงานเพื่อพัฒนาแบบจำลองตามระบบการผลิตได้ เน้นการสร้างความชำนาญของแต่ละสาขาวิชาการโดยเฉพาะในเชิงปริมาณ
2. ในขั้นตอนการพัฒนาโปรแกรมแบบจำลองพืช สามารถพัฒนาเป็นชิ้นส่วน (module) ได้ง่ายขึ้น สามารถพัฒนาชิ้นส่วนเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาการ กระบวนการเจริญเติบโต กระบวนการพลวัตของน้ำในดิน กระบวนการพลวัตของน้ำในพืช กระบวนการพลวัตของธาตุไนโตรเจน และธาตุอื่น ๆ ทั้งนี้ สามารถพัฒนาตามความสมบูรณ์ขององค์ความรู้ในด้านนั้น ๆ อย่างเป็นขั้นเป็นตอน
3. ในขั้นตอนการทดสอบแบบจำลองที่พัฒนาได้ สามารถดำเนินการได้อย่างเป็นระบบ สามารถใช้แบบจัดเก็บข้อมูลที่มีมาตรฐานเดียวกันได้ การออกแบบงานทดลองเพื่อสนับสนุนการจัดเก็บข้อมูล สามารถออกแบบให้ใกล้เคียงกับระบบการผลิตจริง นอกจากนี้ เมื่อผ่านการทดลองในแต่ละช่วงการปรับปรุงแบบจำลอง สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจน
4. ในขั้นตอนการนำแบบจำลองไปใช้งานในสภาพจริง ผู้ใช้งานแบบจำลองก็ทราบข้อจำกัดของแบบจำลองแต่ละประเภท ทำให้การใช้งานแบบจำลองพืชแต่ละแบบจำลองแต่ละลำดับขั้นตรงตามจุดประสงค์ของการพัฒนาแบบจำลอง

2.3 จุดประสงค์ของการพัฒนาและการใช้งานแบบจำลองพืช

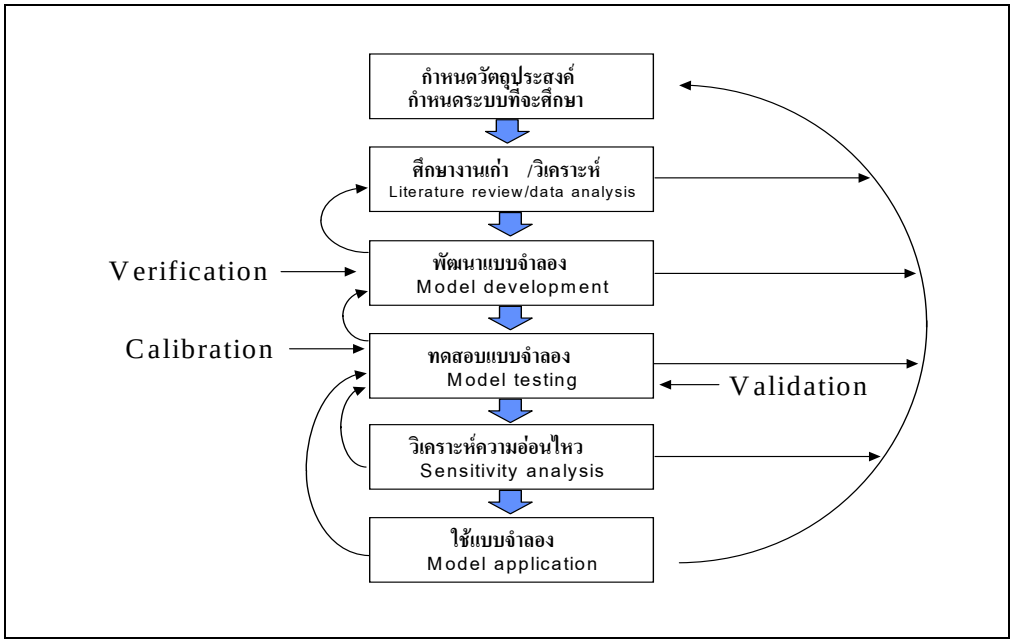
การพัฒนาแบบจำลองระบบการผลิตพืช ในระยะเริ่มแรกมีจุดประสงค์เน้นหนักในด้านช่วยเหลือให้นักวิจัยทำงานวิจัยให้ดีขึ้น เนื่องจากองค์ความรู้ในระดับกระบวนการ ยังมีไม่มากพียงพอต่อการสร้างแบบจำลอง เมื่อการพัฒนาองค์ความรู้ในสาขาวิชาการต่าง ๆ ก้าวหน้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ การพัฒนาแบบจำลองและการใช้งานด้านต่าง ๆ ในวงการเกษตร ก็มีมากขึ้นตามองค์ความรู้ของระบบตั้งแต่ระดับโลก ระดับลุ่มน้ำ และระดับไร่นา และมีตัวอย่างมากมายตามจุดประสงค์เพื่อการใช้งานของผู้วิจัยพัฒนา Boote *et al*. (1996) ได้สรุปความเห็นของ Whisler *et al*. (1986) และเสนอความเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการพัฒนาแบบจำลองไว้ 3 ประเด็นได้แก่

1. เพื่อการสังเคราะห์องค์ความรู้การวิจัยในแต่ละสาขาวิชาการ ให้เกิดการสร้างความเข้าใจใหม่
2. เพื่อช่วยการตัดสินใจในการจัดการผลิตพืช สิ่งแวดล้อม
3. เพื่อการวิเคราะห์นโยบาย

และกลุ่มเราขอเพิ่มอีกประเด็นหนึ่งคือ

4. เพื่อช่วยการจัดการข้อมูลทางเกษตรและประสานงานผู้รับผิดชอบข้อมูล โดยเฉพาะในกรณีของสังคมไทย ซึ่งมีหน่วยงานราชการและเอกชนที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการจัดเก็บและแจกจ่ายข้อมูลมากมาย

การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลอง เป็นกิจกรรมต่อเนื่องเช่นเดียวกันกับกิจกรรมการวิจัยสาขาอื่นทางเกษตร เมื่อวิจัยถึงขั้นที่มีแบบจำลองที่ได้รับการทดสอบในระดับที่น่าเชื่อถือได้ ก็สามารถนำแบบจำลองนั้น ประกอบการดำเนินการแก้ปัญหาทางเกษตร ตามจุดประสงค์ที่ได้ออกแบบให้แบบจำลองทำงาน และจำเป็นต้องมีแบบจำลองหลายแบบจำลอง เพื่อการใช้งานที่มีจุดประสงค์แตกต่างกัน ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการวิจัยตามแนวทาง SMS ซึ่งมีกระบวนการคล้ายคลึงกับงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม โดยเฉพาะการพัฒนาเทคโนโลยีให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งานของผู้ใช้ โดยความร่วมมือของผู้ใช้ เทคโนโลยีทางเกษตรที่ผ่านกระบวนการ FSR เป็นผลลัพธ์เช่นเดียวกันกับแบบจำลอง



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการวิจัยตามแนวคิด SMS เพื่อพัฒนา ทดสอบ และการใช้งานแบบจำลองพืช/สัตว์ (Dent and Blackie, 1982)

3. ตัวอย่างการทดสอบแบบจำลองในประเทศไทย

จากการตรวจเอกสารวิชาการที่มีการตีพิมพ์แล้ว พบว่า มีงานวิจัยที่ทำการทดสอบแบบจำลองพืชในระบบ DSSAT หลายแบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองถั่วเหลือง แบบจำลองข้าว แบบจำลองข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ แบบจำลองอ้อย แบบจำลองมันสำปะหลัง และมีการพัฒนาแบบจำลองพืชเส้นใยด้วยข้อมูลของนักวิชาการไทย นอกจากนี้พบว่า มีงานวิจัยที่เน้นการใช้แบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์นโยบายการผลิตข้าว และการใช้แบบจำลองในการประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่

โดยทั่วไป การทดสอบแบบจำลองพืชของระบบ DSSAT ต้องทดสอบความสามารถของแบบจำลองในการคาดการณ์ระยะพัฒนาการที่สำคัญของแต่ละพืชก่อน จากนั้นจึงดำเนินการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองในการคาดการณ์ผลผลิต

3.1 การทดสอบแบบจำลองถั่วเหลือง

แบบจำลองถั่วเหลือง CROPGRO-DSSAT ได้รับการพัฒนาให้สามารถจำลองการผลิตถั่วเหลืองได้ในระบบการผลิตแบบที่สอง (หัวข้อ 2.1.2) ปัจจุบันมีแบบจำลองต้นแบบที่สามารถจำลองการผลิตในระบบการผลิตที่สามได้ (หัวข้อ 2.1.3)

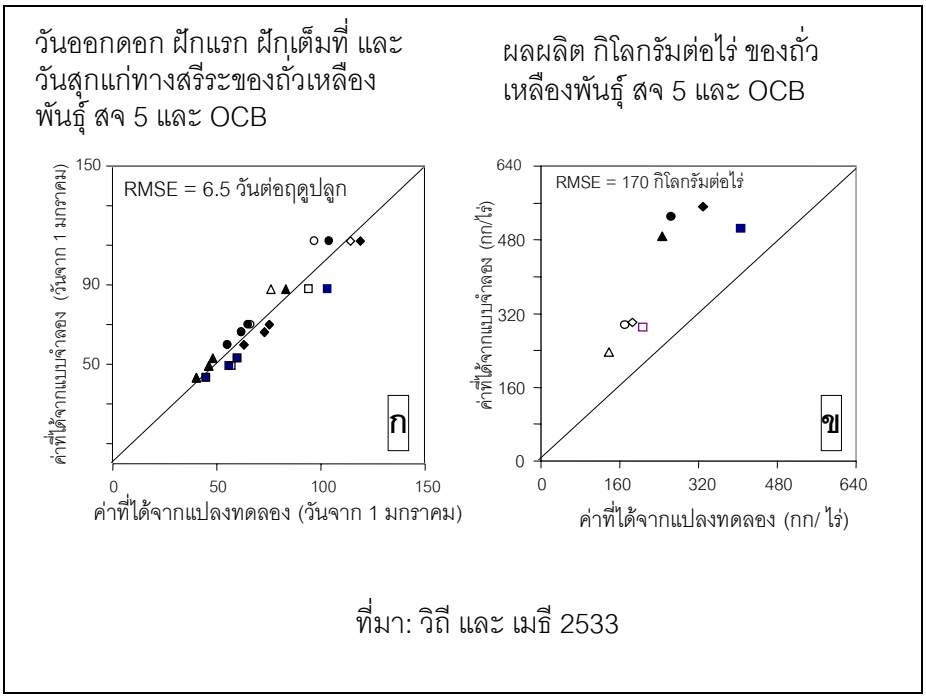
วิถี และ เมธี (2533) ทำการทดสอบแบบจำลองถั่วเหลือง SOYGRO รุ่นที่ 2.0 กับข้อมูลที่เก็บจากการปลูกถั่วเหลืองสองวันปลูก คือปลูกวันที่ 2 และ 22 มกราคม 2531 ใช้ถั่วเหลืองพันธุ์ สจ. 5 และ นครสวรรค์ 1 (OCB) พบว่า แบบจำลองคาดการณ์วันที่ถั่วเหลืองทั้งสองพันธุ์มีพัฒนาการทั้งสี่ระยะได้ดีมาก (ภาพที่ 3) ได้แก่วันออกดอก วันที่มีฝักแรก วันที่ฝักเจริญเติบโตเต็มที่ และวันสุกแก่ทาง

สรีระ มีค่า RMSE เป็น 6.5 วันต่อฤดูปลูก และคาดการณ์ผลผลิตถั่วเหลืองได้เป็นที่น่าพอใจ ในสภาพการผลิตแบบที่มีการควบคุมน้ำหลังการออกดอกหนึ่งเดือน มีค่า RMSE เป็น 170 กิโลกรัมต่อไร่ และแนะนำให้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับลักษณะประจำพันธุ์ของถั่วเหลืองไทย หากจะมีการใช้งานแบบจำลองถั่วเหลืองในการปรับปรุงการผลิตถั่วเหลืองหลังการผลิตข้าวในพื้นที่ราบลุ่มเชียงใหม่

3.2 การทดสอบแบบจำลองข้าว

แบบจำลองข้าว CERES-Rice ได้รับการพัฒนาจากแบบจำลองข้าวโพด ให้สามารถจำลองการผลิตข้าวได้ในระบบการผลิตแบบที่สามได้ (หัวข้อ 2.1.3) มีการศึกษาในประเทศไทยหลายงานทดลองในระยะเกือบ 10 ปีที่ผ่านมา (ภาพที่ 4)

Jintrawet (1991) ทำการทดสอบแบบจำลองข้าว CERES-Rice 2.0 กับข้อมูลจาก 6 งานทดลองข้าวในประเทศไทย ซึ่งทำงานทดลองระหว่างปี 2528-29 ที่สถานีทดลองข้าวคลองหลวง สุพรรณบุรี พิมาย และสุรินทร์ โดยใช้ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง พันธุ์ กข.7 และ พันธุ์ กข. 23 ทดลองร่วมกับอัตราปุ๋ยไนโตรเจนระดับต่าง ๆ ตั้งแต่ไม่ใส่ปุ๋ย ถึงอัตรา 30 กิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ พบว่าแบบจำลองมีความสามารถดีมากในการคาดการณ์วันออกดอก และวันสุกแก่ทางสรีระของข้าว นอกจากนี้พบว่า แบบจำลองมีความสามารถในการคาดการณ์ผลผลิตข้าวได้ในระดับที่น่าพอใจ



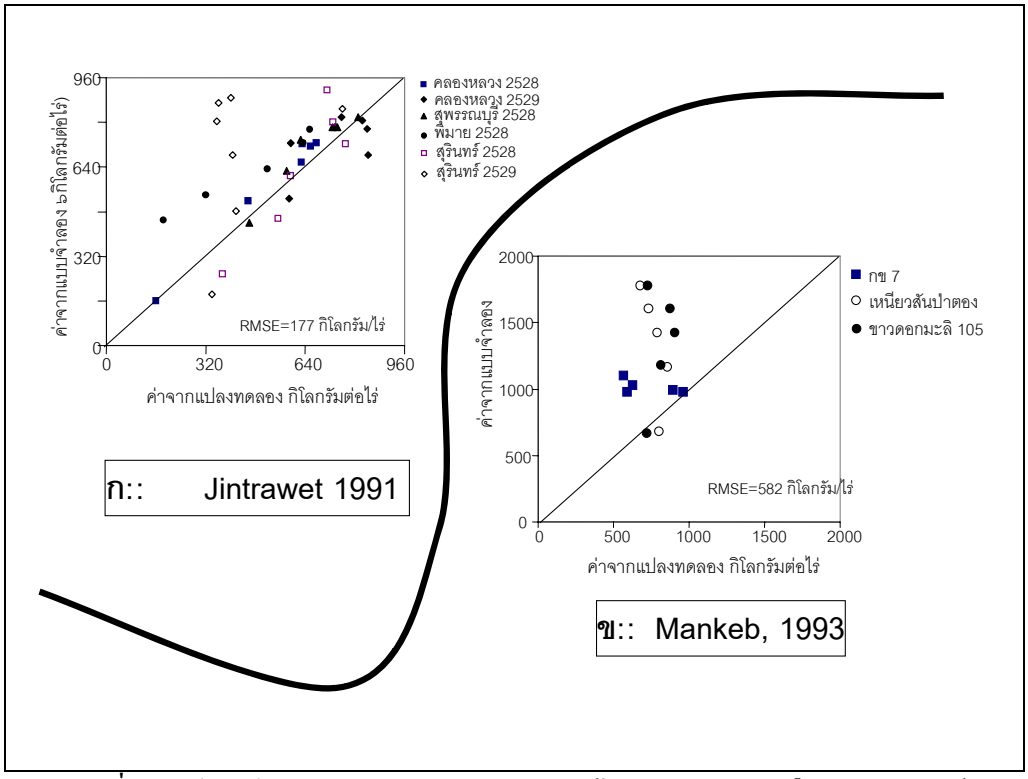
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองถั่วเหลืองและจากแปลงทดลอง

Mankeb (1993) ได้ทำการทดสอบแบบจำลองข้าว CERES-Rice 3.1 กับข้อมูลจากงานทดลองข้าวในประเทศไทย ซึ่งทำงานทดลองระหว่างเดือนเมษายน-ธันวาคม 2534 ที่สถานีวิจัยเกษตร

ชลประทาน ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ โดยใช้ข้าวพันธุ์เหนียวสันป่าตอง ขาวดอกมะลิ 105 และ กข. 7 โดยการปักดำทุกสัปดาห์แรกของเดือน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงกันยายน 2534 เก็บข้อมูลเปรียบเทียบกับแบบจำลอง พบว่า แบบจำลองมีความแม่นยำสูงมากในการคาดการณ์ระยะพัฒนาการต่างของข้าวทั้งสามพันธุ์ อย่างไรก็ตาม แบบจำลองคาดการณ์ผลผลิตข้าวทั้งสามพันธุ์ได้มากกว่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง เนื่องจากการคาดการณ์จำนวนหน่อและจำนวนรวงต่อตารางเมตรของแบบจำลองได้มากกว่าค่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง และเสนอให้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับประเด็นนี้เพื่อการปรับปรุงแบบจำลองในโอกาสต่อไป

ศักดิ์ดา และจิรวัฒน์ (2541) ทำการทดสอบแบบจำลองข้าว CERES-Rice 3.5 กับข้อมูลจากงานทดลองข้าวขาวดอกมะลิ 105 เหนียวสันป่าตอง ชัยนาท 1 และ กวก 1 โดยศึกษาร่วมกับปัจจัยวันปลูกข้าวอีก 5 วันปลูก ในระหว่างฤดูเพาะปลูกปี 2540 ที่แปลงทดลองของศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก จ.พิษณุโลก และศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร จ.เชียงใหม่ การเปรียบเทียบพบว่า แบบจำลองคาดการณ์วันออกดอกและวันสุกแก่ทางสรีระได้ดีมาก แต่คาดการณ์ผลผลิตข้าวได้มากกว่าที่วัดได้จริงจากแปลงทดลองดังกล่าว

นอกจากนี้ยังมีงานทดสอบอีกหลายงานทดลอง ที่อยู่ในระหว่างการดำเนินงานเก็บข้อมูล ซึ่งสามารถนำมาประกอบการทดสอบแบบจำลองข้าวได้ (วิเชียร และ หัสไชย - ติดต่อส่วนตัว)



ภาพที่ 4 เปรียบเทียบความสามารถของแบบจำลองข้าว CERES-Rice ในการคาดการณ์พัฒนาการและผลผลิตข้าวในประเทศไทย

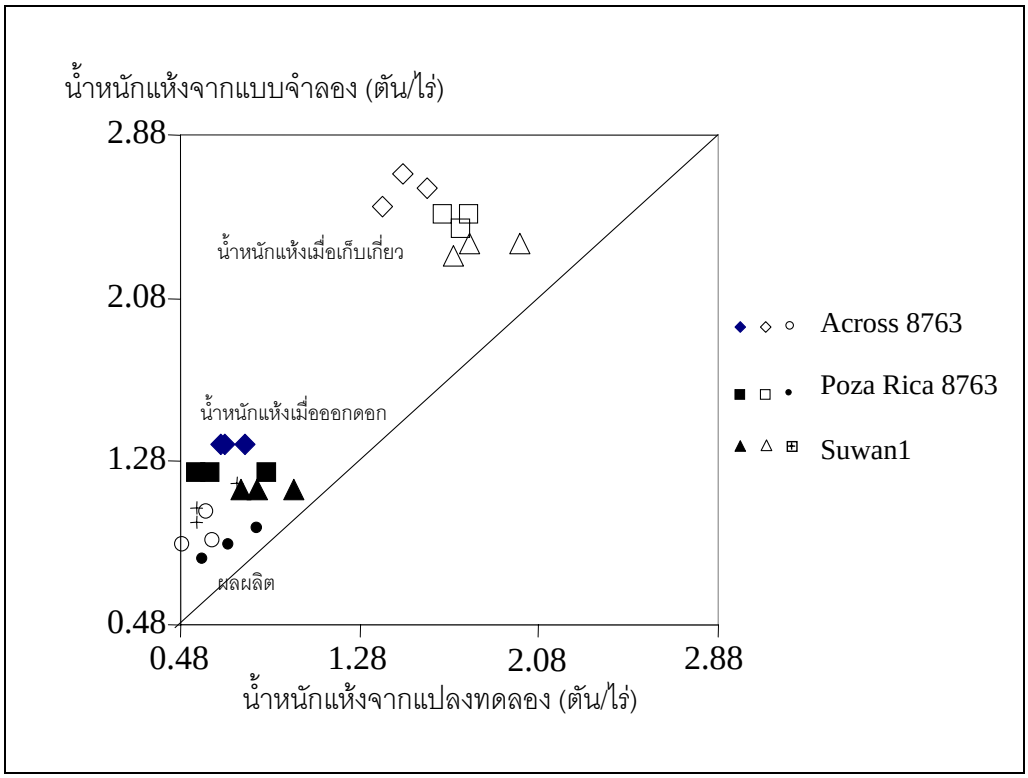
3.3 การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองพืชเส้นใย

Pannangpeth *et al.* (1993) ได้พัฒนาแบบจำลองพืชเส้นใย (ปอแก้ว) ขึ้น โดยใช้ภาษา CSMP ตามต้นแบบโปรแกรมแบบจำลอง MACROS สามารถจำลองระบบการผลิตปอแก้วได้ในระบบการผลิตแบบที่สามได้ (หัวข้อ 2.1.3) การเปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากแบบจำลอง และผลผลิตปอแก้วในฤดูการผลิตปี 1992 ที่แปลงทดลองของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น ซึ่งอยู่ภายในบริเวณสำนักงานเกษตรภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตำบลท่าพระ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น พบว่า แบบจำลองคาดการณ์น้ำหนักใบแห้งได้ค่อนข้างดี และแบบจำลองคาดการณ์ผลผลิตลำต้นได้มากกว่าที่วัดได้ในแปลงทดลอง ผู้วิจัยให้เหตุผลว่า อัตราสังเคราะห์แสงในแบบจำลองเป็นค่าคงที่ แต่ในสภาพจริงอัตราดังกล่าวมีแนวโน้มลดลงเมื่อปอแก้วมีอายุมากขึ้น ผู้วิจัยได้แสดงการนำแบบจำลองที่พัฒนาได้ ไปใช้ในการประเมินความเป็นไปได้ของการเสนอให้เกษตรกรใช้ปอแก้วเป็นพืชตัวเลือก ในการระบบการผลิตข้าวในพื้นที่นาดอนของตำบลพระยืน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น จากผลการศึกษาโดยใช้แบบจำลองที่พัฒนาได้ ผู้วิจัยได้เสนอให้มีการแบ่งพื้นที่นาดอนของตำบลพระยืนเป็นสองระบบนิเวศน์ เพื่อสนับสนุนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ และสรุปว่า แนวทางวิจัยโดยใช้แบบจำลองเป็นเครื่องมือสามารถกำหนดทางเลือกในการผลิตได้ตามหลักวิชาการ และยังช่วยในการแบ่งเขตนิเวศน์ได้เป็นอย่างดี

3.4 การทดสอบแบบจำลองข้าวโพด

แบบจำลองข้าวโพด CERES-MZ ได้รับการพัฒนาให้สามารถจำลองการผลิตข้าวโพดได้ในระบบการผลิตแบบที่สามได้ (หัวข้อ 2.1.3) มีการศึกษาในประเทศไทยดังนี้

Xingming (1995) ทำการทดลองกับข้าวโพดสามพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์ สุวรรณ 1 พันธุ์ Across 8763 (QPM) และ พันธุ์ Poza Rica 8763 ในปีระหว่างเดือนธันวาคม 2537 ถึงเดือนพฤษภาคม 2538 ที่แปลงทดลองเกษตรชลประทานของศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร พบว่า แบบจำลองข้าวโพดคาดการณ์วันออกดอกและวันสุกแก่ทางสรีระของข้าวโพดทั้งสองพันธุ์ได้อย่างแม่นยำ แต่แบบจำลองคาดการณ์ผลผลิตข้าวโพดได้มากกว่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง (ภาพที่ 5)

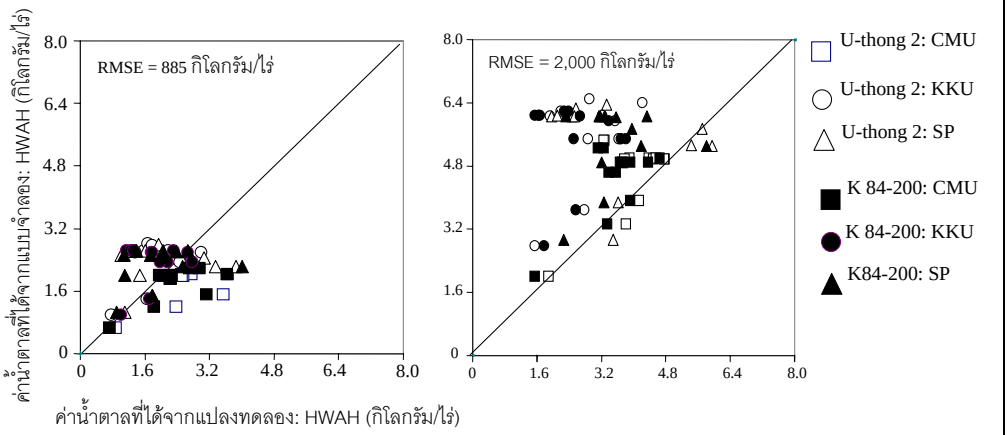


ภาพที่ 5 เปรียบเทียบผลผลิตข้าวโพดจากแบบจำลองและจากแปลงทดลอง (Xingming, 1995)

3.5 การทดสอบแบบจำลองอ้อย

แบบจำลองอ้อย CANEGRO-DSSAT ในโปรแกรม DSSAT 3.5 ได้รับการพัฒนาจากแบบจำลองข้าวโพดและแบบจำลองถั่วเหลือง ให้สามารถจำลองการผลิตอ้อยได้ในระบบการผลิตแบบที่สามได้ (หัวข้อ 2.1.3) มีการศึกษาในประเทศไทยหลายงานทดลองในระยะเกือบ 6 ปีที่ผ่านมา

ในระหว่างปีเพาะปลูก 2537-2541 อรรถชัย และคณะ (2540) เฉลิมพล และคณะ (2540) และสุวิทย์และคณะ (2540) ทำการทดสอบโดยใช้สถานีของสถานีวิจัยและฝึกอบรมแม่เหียะ แปลงทดลองของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี และแปลงทดลองของภาควิชาพืชไร่ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ดำเนินงานทดลองอ้อยสองพันธุ์ คือพันธุ์อู่ทอง 2 และ เค 84-200 ทำการปลูกสี่วันปลูก ได้แก่วันที่ 28 กุมภาพันธ์ 2538, 28 เมษายน 2538, 19 พฤศจิกายน 2538 และวันที่ 16 มกราคม 2539 แบบจำลองอ้อยคาดการณ์น้ำหนักน้ำตาลได้ดี แต่คาดการณ์น้ำแห้งของลำต้นได้มากกว่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง (ภาพที่ 6)



U-Thong 2 = อ้อยพันธุ์อู่ทอง 2 ; K 84-200 = อ้อยพันธุ์ K 84-200;
CMU = มหาวิทยาลัยเชียงใหม่;
KKU = มหาวิทยาลัยขอนแก่น ;
SP =ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี กรมวิชาการเกษตร

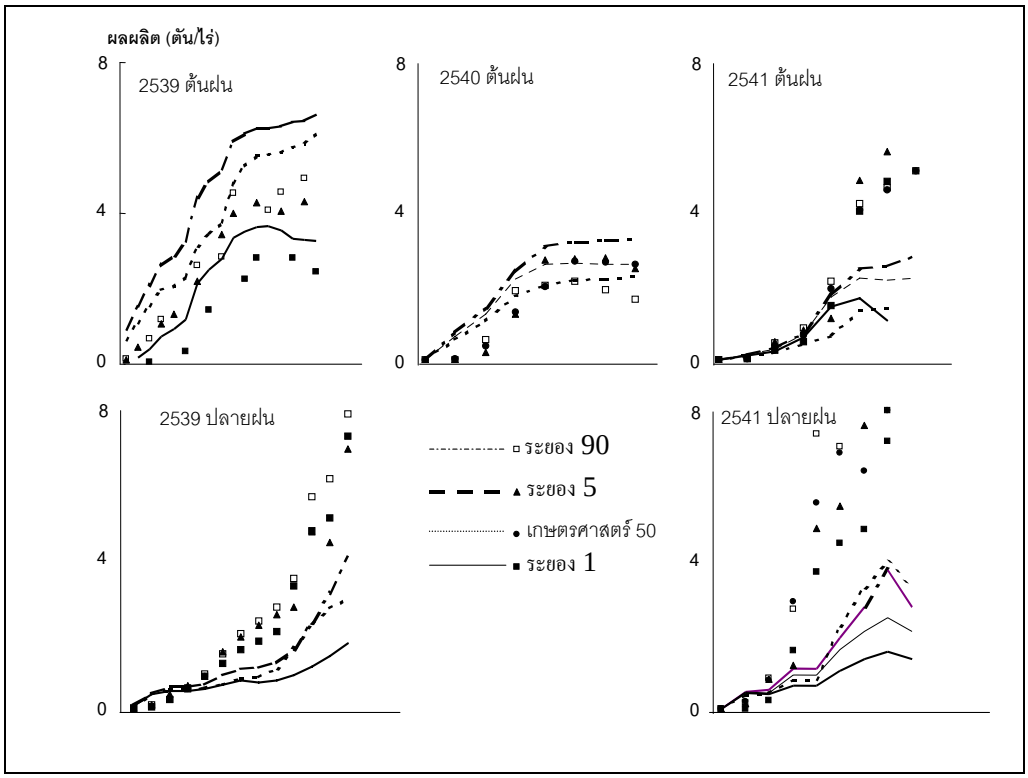
ที่มา: Jintrawet et al, 2000

ภาพที่ 6: เปรียบเทียบผลผลิตจากแบบจำลองอ้อยและจากแปลงทดลอง

3.6 การทดสอบแบบจำลองมันสำปะหลัง

แบบจำลองมันสำปะหลัง CSSIM980 ในโปรแกรม DSSAT 3.5 ได้รับการพัฒนาสามารถจำลองการผลิตมันสำปะหลังได้ในระบบการผลิตแบบที่สองได้ (หัวข้อ 2.1.2) (Matthews and Hunt, 1994) และมีการศึกษาเพื่อทดสอบแบบจำลองมันสำปะหลังในประเทศไทยหลายงานทดลอง (วินัย และคณะ 2541, และ 2543; วินัย และ เพียงเพ็ญ, 2543)

วินัยและคณะ (2541 และ 2543) ทำการทดสอบแบบจำลองมันสำปะหลังโดยใช้ข้อมูลจาก 5 งานทดลอง ใช้พันธุ์มันสำปะหลังไทย 4 พันธุ์ และมี 2 วันปลูก (ภาพที่ 7) เมื่อเปรียบเทียบค่าที่ได้จากแบบจำลองและข้อมูลจากงานทดลองทั้งห้า พบว่าแบบจำลองมันสำปะหลังคาดการณ์ผลผลิตได้มากกว่าที่วัดได้จากแปลงทดลอง สามงานทดลองจากห้างานทดลอง



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบผลผลิตที่ได้จากแบบจำลองมันสำปะหลังและจากแปลงทดลอง (วินัย ศรวัต และคณะ, 2541 และ 2543)

3.7 การใช้งานแบบจำลองในประเทศไทยในลักษณะอื่น ๆ

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการใช้แบบจำลองพืชที่ผ่านการทดสอบแล้ว เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจทางเกษตร หรือใช้เป็นกรอบในการกำหนดหัวข้อวิจัย รวมทั้งใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนการสอน

3.7.1 การวิเคราะห์เชิงการผลิตพืชในระดับมหภาค

พนมศักดิ์ และคณะ (2543) ได้พัฒนาโปรแกรมเชื่อมโยงสำหรับโปรแกรมแบบจำลองพืชในระบบ DSSAT 3.5 โดยใช้กรณีของข้าว CERES-RI 3.5 เพื่อประกอบการวิเคราะห์เชิงนโยบายการผลิตข้าวในระดับจังหวัด และ กรณีของแบบจำลองอ้อย CANEGRO-DSSAT เพื่อการประมาณผลผลิตอ้อยในพื้นที่ขนาดใหญ่ระดับโรงงานน้ำตาลและระดับจังหวัด (อรรถชัย และคณะ, 2542) ปัจจุบันฝ่ายโรงงานได้ดำเนินการพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อให้การใช้งานตรงตามความต้องการของผู้ใช้งานในระดับโรงงาน โดยการพัฒนาฐานข้อมูลพื้นที่ปลูกอ้อยของชาวไร่ให้เป็นปัจจุบัน

3.7.2 การกำหนดกรอบงานวิจัยพื้นฐาน

การใช้แนววิจัย SMS ในการกำหนดกรอบงานวิจัยพื้นฐานในขั้นการสร้างองค์ความรู้ทางเกษตร เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญ การทดสอบแบบจำลองพืชไร่ของสถาบันวิจัยพืชไร่กรมวิชาการเกษตร ในระหว่างปีงบประมาณ 2543 ถึงปี 2546 กรมวิชาการเกษตรได้รับงบประมาณแผ่นดินให้ดำเนินการทดสอบแบบจำลองพืชไร่ในระบบ DSSAT 3.5 รวม 6 พืช ตามรายละเอียดในตารางที่ 1 เป็นกิจกรรมหนึ่งที่แสดงให้เห็นถึงการใช้แนวทางเชิงระบบในการกำหนดกรอบงานวิจัยของหน่วยงานของรัฐ

จุดประสงค์หลักของโครงการวิจัยนี้ เพื่อการหาค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมของสายพันธุ์พืชหลักทั้งหกพืชของประเทศไทย ที่เกษตรกรส่วนใหญ่ใช้ในการผลิต และการสร้างฐานข้อมูลขั้นต่ำที่สมบูรณ์เพียงพอต่อการทดสอบแบบจำลองทั้งหกแบบจำลองที่กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 1. รายละเอียดการดำเนินงานทดสอบแบบจำลองพืชไร่ ในระหว่างปี 2543 ถึงปี 2546 ของกรมวิชาการเกษตร

แบบจำลอง	ศูนย์วิจัยแม่ข่าย และเครือข่าย
มันสำปะหลัง (CSSIM980)	ขอนแก่น ระยอง ร้อยเอ็ด
อ้อยโรงงาน (CANEGRO-DSSAT)	สุพรรณบุรี ขอนแก่น
ถั่วเหลือง (CROPGRO-DSSAT)	เชียงใหม่ ขอนแก่น
ถั่วลิสง (CROPGRO-DSSAT)	ขอนแก่น
ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ (CERES-MZ)	นครสวรรค์
ข้าว (CERES-RI)	พิษณุโลก

นอกจากนี้ ในส่วนของกรมวิชาการเกษตร ได้ดำเนินวิจัยเพื่อประยุกต์ใช้แบบจำลองพืชไร่ในการสนับสนุนการผลิตถั่วเหลืองในพื้นที่จังหวัดของขอนแก่น โดยศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่นเป็นผู้ประสานงานโครงการฯ มีกรมส่งเสริมการเกษตร โดยสำนักงานเกษตรจังหวัดขอนแก่น เป็นหน่วยสนับสนุนปัจจัยการผลิตและการประสานงานร่วมกับเกษตรกรร่วมโครงการฯ ได้ดำเนินการวิจัยโดยใช้แบบจำลองถั่วเหลืองและแบบจำลองอ้อย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตถั่วเหลืองในพื้นที่รอปลูกอ้อย ปลายฝนในพื้นที่อำเภอกระนวนจังหวัดขอนแก่น โดยเริ่มดำเนินการในฤดูการเพาะปลูก 2543 ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม เป็นต้น

3.7.3 การเรียน และการสอน

การเรียนการสอนในระดับปริญญาตรีและระดับบัณฑิตศึกษาในประเทศไทย มีการใช้แนวคิดและทฤษฎีตามแนว SMS เข้าเสริมกระบวนการเรียนรู้ของนักศึกษาในหลายสถาบัน (ตารางที่ 2) ในระดับปริญญาตรีเปิดเป็นกระบวนวิชาเลือก นักศึกษาจะเลือกเรียนเมื่อมีการแนะนำจากรุ่นพี่ที่เคยเรียนมาก่อน หรือจากการแนะนำของอาจารย์ที่ปรึกษา ในระดับปริญญาโทมีนักศึกษาลงทะเบียนเรียนเป็นจำนวนน้อย

ตารางที่ 2. กระบวนวิชาที่มีการใช้แนวคิดและทฤษฎีแบบจำลองพืช

มหาวิทยาลัย	กระบวนวิชา	ระดับ	เปิดสอน ปีการศึกษา	หลักสูตร
ขอนแก่น	Crop growth modeling	โท	2534	พืชไร่
เชียงใหม่	Soil-crop systems modeling	ตรี	2537	ปฐพีศาสตร์และอนุรักษศาสตร์
	System modeling and simulation	โท	2535	เกษตรศาสตร์เชิงระบบ
สุรนารี	Crop modeling	โท		ระบบการผลิตพืช

มีการฝึกอบรมเกี่ยวกับเรื่องนี้ในประเทศไทยในระหว่างปี 2534-2536 เพื่อเพิ่มจำนวนผู้ทำงานในด้านนี้ โดยจัดการฝึกอบรมแบบจำลองในระบบ DSSAT 3.0 นอกจากนี้ยังมีการฝึกอบรมรายสองเดือน จัดขึ้นระหว่างเดือนกันยายน 2542 ถึง กันยายน 2543 โดยการดำเนินงานของศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น เพื่อเตรียมทีมวิจัยตามรายละเอียดในตารางที่ 1 เอกสารเกี่ยวกับกระบวนการฝึกอบรมอยู่ในระหว่างการจัดพิมพ์

4. การใช้แบบจำลองพืชในงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม

4.1 จะใช้งานแบบจำลองสนับสนุนในจุดไหน?

งานวิจัยระบบการทำฟาร์ม เน้นการมีส่วนร่วมของเกษตรกรตั้งแต่เริ่มแรก ในการวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางเกษตรให้เหมาะสมต่อสภาพสังคมเศรษฐกิจ กายภาพ และชีวภาพของเกษตรกรรายย่อยด้อยโอกาส แบบจำลองพืชเหล่านี้ จะเสริมงานวิจัยระบบการทำฟาร์มในประเด็นไหนได้บ้าง? จะเสริมปัญญาท้องถิ่นได้อย่างไร? และท้องถิ่นรวมทั้งสังคมไทยต้องทำอะไรบ้างจึงจะได้ใช้ประโยชน์?

แบบจำลองพืชน่าจะสามารถสนับสนุนงานวิจัยระบบการทำฟาร์มและ**สร้างความเปลี่ยนแปลง**ได้ใน 2 ประการ ได้แก่

1) FSR เน้นการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในกิจกรรมการวิเคราะห์ระบบและกำหนดประเด็นปัญหา เน้นเนื้อหาและผลงานวิจัยเชิงคุณภาพมากกว่าเชิงปริมาณ และขาดเครื่องมือสนับสนุนการวิเคราะห์และสังเคราะห์ความเสี่ยงของการใช้เทคโนโลยีในด้านต่าง ๆ ก่อนการนำเทคโนโลยีไปใช้ในระดับไร่นากับเกษตรกรเป็นจำนวนมาก เช่น ไม่มีเครื่องมือวิเคราะห์ได้ว่า เมื่อแนะนำให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์หรือมูลสัตว์เป็นจำนวนมากในการผลิตพืช จะส่งผลกระทบอย่างไรต่อสภาพแวดล้อมในไร่นาของเกษตรกรรายนั้น หรือจะทราบได้อย่างไรว่าเทคโนโลยีดังกล่าว มีผลกระทบต่อเพื่อนบ้านในระดับไหน เป็นต้น แบบจำลองเป็นเครื่องมือที่สามารถสนับสนุนการวิเคราะห์และการประเมินเทคโนโลยีทางเกษตรได้เป็นอย่างดี สิ่งที่เกษตรกรรายย่อยกลัว เมื่อกล่าวถึงการใช้เทคโนโลยีทางเกษตรในไร่นาของตนเอง ได้แก่ผลผลิตที่จะได้จากการผลิตในฤดูกาลที่มีภาวะพิเศษ เช่น ภาวะฝนแล้ง เป็นต้น

แบบจำลองพืชเป็นเครื่องมือหนึ่ง ที่ผู้ใช้งานสามารถใช้ประกอบการปรับใช้เทคโนโลยีให้เหมาะต่อความต้องการของเกษตรกร อาจจะใช้ประเมินได้ก่อนการใช้งานจริงในระดับไร่นา

2) FSR ทำงานกับเกษตรกรที่มีความหลากหลายด้านสังคมเศรษฐกิจและการเมือง ทำให้การกำหนดประเด็นวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีทางเกษตร ต้องพิจารณาปัจจัยหลายด้าน นอกจากนี้ทรัพยากรในการดำเนินงานวิจัย ไม่เพียงพอที่จะครอบคลุมปัจจัยที่มีผลต่อผลผลิตพืชได้อย่างทั่วถึง แบบจำลองเป็นเครื่องมือหนึ่งที่จะช่วยรักษาความหลากหลายของปัจจัยการผลิต และทำให้สามารถเลือกทำการศึกษาวิจัยเฉพาะปัจจัยการผลิตที่เป็นปัญหาสำคัญ ของระบบการผลิตที่เกษตรกรประสบอยู่ เป็นการเพิ่มประสิทธิผลของการวิจัยทางเกษตร

4.2 สิ่งที่ต้องดำเนินการถ้าต้องการใช้งานแบบจำลองพืช

การที่จะใช้แนวทาง SMS ในระบบงานวิจัยการเกษตรของไทย ต้องมีการปรับปรุงและเตรียมตัวหลายแง่มุมได้แก่ ต้องเตรียมโจทย์หรือคำถามที่จะใช้งานแบบจำลอง ต้องเตรียมข้อมูล ต้องเตรียมบุคลากร และต้องทำอย่างต่อเนื่อง

4.2.1 ต้องเตรียมโจทย์หรือคำถาม

แบบจำลองไม่อาจจะตอบคำถามการผลิตทางเกษตรได้ทุกคำถาม (Boote *et al*, 1996) เนื่องจากความรู้ของเราเกี่ยวกับระบบต่าง ๆ ยังไม่สมบูรณ์เพียงพอ หรือด้วยสาเหตุอื่นก็ตาม ดังนั้น เพื่อให้การใช้งานมีประสิทธิภาพ เราควรที่จะคิดคำถามหรือโจทย์ ที่จะสามารถใช้แบบจำลองในการตอบคำถามที่นำพาไปสู่การแก้ไขปัญหาหรือปรับปรุงสภาพให้ดีขึ้น อาจจะใช้กรอบที่เสนอใน ข้อ 2.1 (กรอบงานวิจัยพัฒนาแบบจำลอง) เพื่อพิจารณาตั้งคำถาม ข้อควรคำนึงในกรณีที่เป็นนักวิชาการเกษตรคือ การทำงานโดยใช้แบบจำลอง อาจจะไม่ได้ช่วยตอบคำถามและเพิ่มความเข้าใจใหม่ ๆ ทางวิทยาศาสตร์เกษตรก็ได้ (Sinclair and Seligman, 2000)

4.2.2 ต้องเตรียมข้อมูล

การพัฒนาและการใช้แบบจำลอง ต้องเตรียมการด้านข้อมูลเป็นอย่างดี ทั้งด้านจำนวนและคุณภาพของข้อมูล ทั้งข้อมูลด้านกายภาพ ชีวภาพ สังคม เศรษฐกิจ ครัวเรือนเกษตรกร หรือระบบการผลิต แบบจำลองพืชในระบบ DSSAT ต้องการข้อมูลอากาศเกษตรรายวัน 4 ชุด ได้แก่ ค่ารังสีแสงอาทิตย์ อุณหภูมิสูงสุด-ต่ำสุด ค่าปริมาณน้ำฝน ต้องการค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมพืชที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโตและพัฒนาการ ต้องการข้อมูลดินทางด้านกายภาพและเคมีตามชั้นความลึกของดิน ต้องการข้อมูลการจัดการผลิตพืช วันปลูก วันใส่ปุ๋ย ปริมาณและชนิดที่ใส่ วันให้น้ำชลประทาน ปริมาณและความลึก

ข้อมูลเหล่านี้เปรียบเสมือนกับทรัพยากรดิน ทรัพยากรน้ำ ทรัพยากรมนุษย์ และทรัพยากรพันธุ์พืชพันธุ์สัตว์ เป็น **"ทรัพย์สิน"** ของสังคมที่จะใช้ร่วมกับแบบจำลอง เพื่อประกอบกิจการทางเกษตรให้ยั่งยืน และพัฒนาไปในทางที่เป็นประโยชน์ต่อทุกคนในสังคม

4.2.3 ต้องเตรียมคน หน่วยวิจัย และระบบวิจัย

ต้องเตรียมคนให้เข้าใจปัญหาทางเกษตรของเรา เข้าใจการทำงานกับเกษตรกร เข้าใจองค์กรของเกษตรกรระดับต่าง ๆ เป็นคนที่ต้องสามารถใช้ข้อมูลและแนวทาง SMS ได้ สามารถใช้วิธีการเชิงปริมาณประกอบการทำงาน และเป็นคนที่มีความเข้าใจการใช้งานแบบจำลองพืช เพื่อการแก้ปัญหาทางเกษตรที่เกษตรกรแต่ละกลุ่มแต่ละพื้นที่ประสบอยู่ เป็นคนที่จะร่วมกันพัฒนา ร่วมกันใช้งาน ร่วมกันรักษาเครื่องไม้เครื่องมือเหล่านี้ และถ่ายทอดต่อไปให้เป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมการวิจัยและพัฒนาเกษตรไทย ให้ระบบการผลิตพืช/สัตว์ของเรายั่งยืนกว่าที่เป็นอยู่

การเตรียมคนของเรา ไม่สมบูรณ์แบบเพียงพอต่อการสร้างผลงานวิจัยในรูปแบบจำลองพืชเพื่อการแก้ปัญหาการผลิตรายพืชได้อย่างแน่นอน เนื่องเพราะคนเหล่านั้นไม่มีหน่วยวิจัยและระบบวิจัยที่มีประสิทธิภาพให้ปฏิบัติงานวิจัย ระบบงานวิจัยที่ดีควรเอื้อให้นักวิจัยมีการตั้งโจทย์วิจัยที่ดี มีวิธีการวิจัยที่มีมาตรฐาน ต้องเอื้อให้คนเหล่านั้นได้มีโอกาสสะสมประสบการณ์ และสร้างวัฒนธรรมวิจัยอย่างเป็นระบบ ดังนั้นการสร้างหน่วยวิจัย หรือหน่วยรวมนักวิจัยที่มีความชำนาญในด้านต่าง ๆ จึงมีความจำเป็นต่อการที่เราใช้เริ่มงานการพัฒนาและการใช้แบบจำลอง เพื่อการแก้ไขปัญหาของระบบอย่างมีประสิทธิภาพ อาจจะทำให้ปัญหาการตั้งโจทย์วิจัย และปัญหาการเตรียมข้อมูลลดลง

5. แนวโน้นของพัฒนาและการใช้งานแบบจำลองระบบการผลิตพืช

5.1 การจำลองสถานการณ์บนเครือข่ายอินเตอร์เนทตามเวลาจริง

พัฒนาการของเครือข่ายอินเตอร์เนท รวมทั้งความต้องการของผู้ใช้งานแบบจำลอง ฐานข้อมูลประเภทต่าง ๆ ทำให้เกิดการพัฒนาระบบการใช้งานแบบจำลองระบบการผลิตพืช ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เนท ปัจจุบันเท่าที่มีการพัฒนาแล้วมีอยู่ดังนี้

สถานีวิจัยอ้อยประเทศอัฟริกาใต้ http://www.sasa.org.za/sasex/irricane/index.htm ผู้ใช้งานสามารถใช้งานแบบจำลองอ้อย CANESIM ในการคาดการณ์ผลผลิตอ้อยโดยการจัดการน้ำชลประทานได้สามแบบได้แก่ อาศัยน้ำฝน อาศัยน้ำชลประทานแบบธรรมดา (Full irrigation) และแบบพิเศษ (Advanced irrigation)

โครงข่ายติดตามสภาพอากาศแบบอัตโนมัติของมลรัฐจอร์เจีย http://www.griffin.peachnet.edu/cgi-bin/GAEMN.pl?site =AAAA&report=ds ผู้ใช้งานสามารถใช้งานแบบจำลองได้ 10 แบบจำลอง ได้แก่ แบบจำลองข้าวโพด ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวบาร์เลย์ ข้าวฟ่างหางกระรอก ถั่วแดง ถั่วเหลือง ถั่วลิสง ถั่วชิกพี (chickpea) และมะเขือเทศ

5.2 การพัฒนาฐานข้อมูลมาตรฐาน

ในปี 1999 มีการลงนามความเข้าใจระหว่างกลุ่มวิจัยแบบจำลองของ ICASA และกลุ่มวิจัย GCTE เพื่อใช้ระบบฐานข้อมูลร่วมในการพัฒนาและการใช้แบบจำลองพืช ในการศึกษาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงบรรยายกาศของโลก ต่อระบบนิเวศน์และระบบการผลิตพืชอาหารหลักของประเทศต่าง ๆ ระบบฐานข้อมูลนี้ ได้แก่ระบบฐานข้อมูลเดียวกันกับแบบจำลองพืชในระบบ DSSAT ซึ่งได้แก่ ข้อมูลภูมิอากาศรายวัน ข้อมูลพันธุ์กรรมพืช ข้อมูลชุดดินตามชั้นความลึก และข้อมูลการจัดการผลิตพืช

ยิ่งมีคำถามมาก มุมมองมาก มิติมากกว่าเดิม ก็ต้องการข้อมูลมากขึ้นเป็นเงาตามตัว ซึ่งต้องการทั้งการทำงานอย่างเป็นหมู่คณะ (team work) และแบบเป็นเครือข่าย (network) ในประเทศไทย มีหน่วยงานที่ทำการผลิตข้อมูลในหลายรูปแบบ และมีมาตรฐานตามความต้องการของหน่วยงาน สิ่งที่น่าจะเกิดขึ้นคือ การยอมรับมาตรฐานข้อมูล ที่เอื้อให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงฐานข้อมูลของแต่ละหน่วยงาน และสามารถใช้งานร่วมกับแบบจำลองพืชและแบบจำลองระบบเกษตร เพื่อการประเมินเทคโนโลยีทางเกษตรตามความต้องการของผู้ใช้งาน

หน่วยงานที่มีหน้าที่โดยตรงเกี่ยวกับการเก็บและการใช้ข้อมูล ควรร่วมมือกันพัฒนาระบบฐานข้อมูลให้ได้มาตรฐาน (Standard databases) เช่น

- ฐานข้อมูลดิน ควรปรับปรุงข้อมูลแผนที่ดินในระดับชุดดิน
- ฐานข้อมูลภูมิอากาศ ควรสนับสนุนให้ทุกสถานีตรวจอากาศของกรมอุตุนิยมวิทยาและของกรมชลประทาน มีเครื่องตรวจวัดค่ารังสีแสงอาทิตย์ แทนการวัดค่าความยาววัน (Sunshine hour) ที่ใช้ในปัจจุบัน
- ฐานข้อมูลการปลูกพืชของงานทดลอง ทดสอบ ของกรม กอง ต่างๆ ของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ควรมีการบันทึกในลักษณะที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้น เช่น การบันทึกตำแหน่งพิกัดสถานที่ทดลอง เป็นต้น

6. สรุป

การนำแบบจำลองระบบผลิตพืช เข้าเสริมความแข็งแกร่งของงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม เพื่อผลิตเทคโนโลยีทางเกษตรที่เหมาะสมโดยการมีส่วนร่วมของเกษตรกร จะทำให้การผลิตในระดับครัวเรือนเพื่อการยังชีพ และการผลิตเหนือระดับครัวเรือนแบบเป็นอาชีพ เป็นการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในสภาวการณ์ผลิตสินค้าที่มีการแข่งขันสูง การใช้งานต้องมีพื้นฐานจากระบบฐานข้อมูลมาตรฐาน ระบบฐานข้อมูลต้องเอื้อให้ผู้ใช้สามารถเลือกใช้แบบจำลองพืชจากหลายแหล่งตามความเหมาะสม

การนำแบบจำลองพืชมาใช้ในงานวิจัยระบบการทำฟาร์ม อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนวัฒนธรรมในการวิจัยทางเกษตร เสริมวิธีการวิจัยปัจจุบัน อาจต้องมีการปรับเปลี่ยนหลักสูตรการเรียนการสอนในระดับมหาวิทยาลัย เพื่อการผลิตบัณฑิตและงานวิจัยที่สนับสนุนงานวิจัย SMS เสริมให้งานวิจัยทางเกษตรของเราสร้างความรู้ความเข้าใจใหม่ (Understand) เพื่อช่วยในการคาดการณ์ (Predict) และในที่สุดใช้ความเข้าใจที่ได้ในการควบคุม (Control) จัดการทรัพยากรให้เหมาะสม มีความแม่นยำเชิงเวลา (Temporal precision) ตามสภาพการผลิตทางเกษตรของแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตาม การปรับเปลี่ยนน่าจะยึดหลักของธรรมชาติของเรา ของสังคมของเรา และทำให้เกิดความสุขในระดับต่าง ๆ ความสุขเฉพาะบุคคล ครัวเรือนเกษตรกร ชุมชน หมู่บ้าน จังหวัด ประเทศของเรา แบบจำลองพืชเป็นผลลัพธ์องค์รวมของนักวิชาการที่มีความชำนาญในสาขาวิชามากมาย เปรียบเสมือนเจดีย์หรือปิรามิดที่ประกอบไปด้วยก้อนหิน ก้อนอิฐเป็นจำนวนมาก วางเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ มีระบบ มีฐานรากที่แข็งแรง เมื่อขาดก้อนอิฐก้อนหนึ่ง อาจจะทำให้ตัวปิรามิดหรือเจดีย์ไม่สมบูรณ์ตามจุดประสงค์ อาจจะพังทลายได้ แบบจำลองพืชต่างจากเจดีย์หรือปิรามิดในประเด็นที่ว่า ไม่มีแบบจำลองไหนที่ได้รับการพัฒนาให้

ครอบคลุมปัจจัยการผลิตทางเกษตรได้ทุกปัจจัย เนื่องจากองค์ความรู้ความเข้าใจไม่เพียงพอ ต้องช่วยกันวิจัยและพัฒนาความเข้าใจเพิ่มขึ้น เพื่อให้การพัฒนาและการทดสอบแบบจำลองพืช ครอบคลุมปัจจัยได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้การใช้งานแบบจำลองพืช ครอบคลุมปัจจัยการผลิตที่หลากหลายของระบบฟาร์ม ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำนิยม

ตอนที่หารือกับอาจารย์ ดร. เมธี เอกะสิงห์เกี่ยวกับการนำเสนอเรื่องราวของงานวิจัยแบบจำลองระบบการผลิตพืช (System Modeling and Simulation approach: SMS) ก็คิดว่าคงไม่ยากที่จะเรียบเรียงและนำเสนอ แต่ตอนหลังทราบข้อมูลเพิ่มเติมว่า รศ.ดร. อารันต์ พัฒโนทัย อยากให้เน้นเฉพาะงานที่ทำในประเทศไทยที่มีการตีพิมพ์พออ้างอิงได้ ก็ทำให้กลายเป็นเรื่องยากขึ้นมาทันที ในฐานะผู้เขียนชื่อแรก เลยตัดสินใจใช้แนวทางแบบรุมเป็นพวก หรือว่า แบบสหสาขาวิชา และขอขอบพระคุณอาจารย์ทั้งสองท่าน ที่ให้ความไว้ใจและความเชื่อมั่นแก่พวกเราในการทำเอกสารฉบับนี้

เอกสารอ้างอิงและบรรณานุกรม

วิถี มณีวรรณ และ เมธี เอกะสิงห์. 2533. การทดสอบแบบจำลองการเจริญเติบโตสำหรับถั่วเหลืองที่ปลูกหลังข้าวในที่ราบลุ่มเชียงใหม่. รายงานการสัมมนาเชิงปฏิบัติการงานวิจัยถั่วเหลือง ครั้งที่ 3. วันที่ 21-23 กุมภาพันธ์ 2533. หน้า 306-320.

วินัย ศรวัต, เพียงเพ็ญ ศรวัต และ ธนิต โสภโณดร. 2541. ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของมันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. รายงานการประชุมแถลงผลงานวิจัยปี 2540 ณ ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น. วันที่ 9-10 กุมภาพันธ์ 2541.

วินัย ศรวัต, สุกิจ รัตนศรีวงษ์, เพียงเพ็ญ ศรวัต, วัลลภา ชีวะประเสริฐ และ ปิ่นแก้ว ค้อชากุล. 2543. ศึกษาการเจริญเติบโตและพัฒนาการของพันธุ์มันสำปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบน. รายงานผลการวิจัยปี 2541 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. หน้า 309-320.

วินัย ศรวัต, สุกิจ รัตนศรีวงษ์, เพียงเพ็ญ ศรวัต, วัลลภา ชีวะประเสริฐ และ ปิ่นแก้ว ค้อชากุล. 2543. การเจริญเติบโตและพัฒนาการของมันสำปะหลังพันธุ์แนะนำ. รายงานผลการวิจัยปี 2542 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร.

วินัย ศรวัต และ เพียงเพ็ญ ศรวัต. 2543. การเจริญเติบโตและพัฒนาการของมันสำปะหลังแนะนำ. รายงานประจำปี 2542 ศูนย์วิจัยพืชไร่ขอนแก่น สถาบันวิจัยพืชไร่ กรมวิชาการเกษตร. หน้า 53-59.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, อรรถชัย จินตะเวช และ เมธี เอกะสิงห์. 2542. โปรแกรมเชื่อมโยง เอราวัณ 1.0. Agri. System Working paper #123. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่.

พนมศักดิ์ พรหมบุรมย์, อรรถชัย จินตะเวช และ เมธี เอกะสิงห์. 2543. โครงสร้างของระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตข้าว: โพสพ 1.0. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยระบบสนับสนุนการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่. หน้า 213-237.

ศักดิ์ดา จงแก้ววัฒนา และ จิรวัฒน์ เวชแพศย์. 2541. การประเมินค่าสัมประสิทธิ์พันธุกรรมข้าวและการทดสอบความแม่นยำของแบบจำลองการเจริญเติบโตของข้าว CERES-Rice. รายงานความก้าวหน้าโครงการวิจัย ระบบสนับสนุนการตัดสินใจการผลิตพืช: ข้าวในภาคเหนือ. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่. หน้า 88-99.

อรรถชัย จินตะเวช, สุวิทย์ เลาหศิริวงศ์ และ เฉลิมพล ไหลรุ่งเรือง. (บรรณาธิการ). 2542. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยการประมาณผลผลิตอ้อยด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์. ศูนย์วิจัยเพื่อเพิ่มผลผลิตทางเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่. 44 หน้า.

อรรถชัย จินตะเวช. 2539. วิจัยอ้อยอย่างเป็นระบบโดยใช้แนวและวิธีการ modeling. รายงานการประชุมประจำปี 2538 ของศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรีและสถานีทดลองพืชไร่สงขลา. 12-13 กุมภาพันธ์ 2539. โรงแรมริเวอร์แคว อ.เมือง จ.กาญจนบุรี.

Antle, J.M., S.M. Capalbo and C.C. Crissman. 1998. Econometric and simulation modeling of the Carchi potato production system. P 145-179. *In* J.M. Antle, S.M. Capalbo, and C.C. Crissman. (eds.). Economic, Environmental and Health Tradeoffs in Agriculture: Pesticides and the Sustainability of Andean Potato Production. Kluwer Academic Pub.

Boote, K. J., J. W. Jones and N. B. Pickering. 1996. Potential uses and limitations of crop models. Agron. J. 88: 704-716.

Bouman, B.A.M., H. van Keulen, H.H. van Laar, and R. Rabbinge. 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: A pedigree and historical overview. Agricultural Systems 52: 171-198.

Dent, J.B., and P.K. Thornton. 1988. The role of biological simulation models in farming systems research. Agric. Admin & Extension. 29(2): 111-122.

Ekasingh, M., A. Jintrawet, S. Jongkaewwattana and S. Buranaviriyakul. 1992. Simulation models in agriculture: Activities at Chiang Mai University. A paper presented at a workshop on "Simulation model in agricultural development in Thailand". Aug 21, 1992. Field Crop Res. Inst., Bangkok, Thailand.

Evans, J.R., and G.D. Farquhar. 1991. Modeling canopy photosynthesis from the biochemistry of the C_3 chloroplast. CSSA Spec. Pub. #19, Madison, WI, USA., p 1-15.

Ford, A. 1999. Modeling the Environment. Island Press, Wash, D.C., Calif, USA, 401 pp.

Hanks, J. and J.T. Ritchie. 1991. Modeling Plant and Soil Systems. ASA Monograph # 31, Madison, WI, USA., 545 pp.

Holt, D.A. and S.T. Sonka. 1995. Virtual agriculture: Developing and transferring agricultural technology in the 21st century. Pages 883-896. *In* P.C. Robert, R.H. Rust, and W.E. Larson. (eds.). Site-Specific Management for Agricultural Systems. 2nd Inter. Conf. March 27-30, 1994. Thunderbird Hotel, MN, USA. ASA-CSSA-SSSA, 677 South Segoe Rd, Madison, WI, USA.

Hoogenboom, G., G.Y. Tsuji, N.B. Pickering, R.B. Curry, J.W. Jones, U. Singh and D.C. Godwin. 1995. Decision Support System to Study Climate Change Impacts on Crop Production. ASA Spec. Pub. # 59, Madison, WI, USA, p 51-75.

Jintrawet, A., S. Laohasiriwong and C. Lairuengroeng. 2000. Predicting the effect of planting dates on sugarcane performance in Thailand. Proceedings of the International CANEGRO Workshop. Durban, South Africa, 4-7 August 2000.

Jintrawet, A. 1991. A decision support system for rapid appraisal of rice-based agricultural innovations. Ph.D. Dissertation, Graduate School, Univ. of Hawaii, Honolulu, HI, USA, 167 pp.

Jong, R. de and W.D. Reynolds, 1995. Methodology for predicting agrochemical leaching on a watershed basis. Pages 795-818. *In* P.C. Robert, R.H. Rust and W.E. Larson. (eds.). Site-Specific Management for Agricultural Systems. 2nd Inter. Conf. March 27-30, 1994. Thunderbird Hotel, MN, USA. ASA-CSSA-SSSA, 677 South Segoe Rd, Madison, WI, USA.

Jongkaewwattana, S. 1995. Systems Simulation and Modeling. Multiple Cropping Center, CMU, Chiang Mai, Thailand, 199 pp.

Mankeb, P. 1993. Calibration of genetic coefficients of paddy rice (*Oryza sativa* L.) for validation of the CERES-Rice model in Northern Thailand. M.S. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. 120 pp

Matthews, R.B. and L.A. Hunt. 1994. GUMCAS: A model describing the growth of cassava (*Manihot esculenta* L. Crantz). Field Crop Research 36: 69-84.

Pannangpeth, K., V. Sarawat, C. Dulyaphat, S. Laohasiriwong and N. Vorasoot. 1993. Application of crop growth model for yield improvement in bast fiber crop. Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand, 63 pp.

Penning de Vries, F.W.T., R. Rabbinge, D.M. Jansen and A. Bakema. 1988. Transfer of systems analysis and simulation in agriculture to developing countries. Agric. Admin. & Extension 29: 85-96.

Penning de Vries, F.W.T. and H.H.van Laar. 1982. Simulation of plant growth and crop production. Simulation Monograph, PUDOC, Wageningen, The Netherlands, 308 pp.

Peart, R.M. and R. B. Curry. 1998. Agricultural Systems Modeling and Simulation. Marcel Dekker, Inc., New York, USA., 696 pp.

Sinclair, T.R. and N. Seligman. 2000. Criteria for publishing papers on crop modeling. Field Crop Research 68: 165-172.

Thornton, P. K., W. T. Bowen, A. C. Ravelo, P. W. Wilkens and G. Farmer. 1997. Estimating millet production for famine early warning. An. Agric. and Forest Metero. 95-112.

Van Noordwijk, M. and B. Lusiana. 2000. WaNuLCAS version 2.0, Background on a model of water nutrient and light capture in agroforestry systems. ICRAF, Bogor, Indonesia, 186 pp.

Xingming, Fan. 1995. Grain yield assessment of quality protein maize in different environments using a modeling approach. M.S. Thesis, Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand. 144 pp.

Whisler, F. D., B. Acock, D. N. Baker, R. E. Fye, H. F. Hodges, J.R. Lambert, H.E. Lemmon, J.M. McKinnon and V.R. Reddy. 1986. Crop simulation models in agronomic systems. Advances in Agronomy 40: 141-208.

Wit, C.T. de. 1965. Photosynthesis of leaf canopies. Agr. Res. Rep. 663. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.